

# 고속무선통신에서 트래픽 특성에 따른 공평성 증대를 위한 패킷 스케줄링 알고리즘

이승환<sup>†</sup>, 이명섭<sup>\*\*</sup>

## 요 약

본 논문에서는 고속무선통신시스템에서 트래픽 특성과 CPICH(common pilot channel)에서의 수신 신호대 간섭 전력비를 기반으로 유동적으로 채널을 할당하는 스케줄링 기법을 제안한다. 제안 알고리즘에서 사용자에게 할당되는 채널수는 CPICH에서 측정된 신호대간섭 전력비 값에 매겨진 등급에 따라 다른 수의 채널이 사용자에게 할당되며, 이때 남은 가용 채널을 두 번째 등급을 가지는 사용자에게 할당하는 방식이다. 따라서 기존 알고리즘과 유사하게 시스템의 전송 수율을 유지하면서 보다 많은 사용자에게 서비스를 제공하여 공평성을 향상시키는 기법이다. 실험에서 MAX C/I 알고리즘에 비해 전송률은 조금 낮지만 채널의 효율적 분배인 공평성에서는 높은 성능을 보였으며, 비례공정 알고리즘에 비해 높은 전송 수율을 보였다.

## Packet scheduling algorithm of increasing of fairness according to traffic characteristics in HSDPA

Seunghwan Lee<sup>†</sup>, Myung-Sub Lee<sup>\*\*</sup>

## ABSTRACT

In this paper, we propose a packet scheduling algorithm that assigns different number of HS-PDSCH(High Speed Primary Downlink Shared Channel) to the service user according to the received signal to interference ratio of CPICH(Common Pilot Channel) and to the traffic characteristics. Assigned channel number is determined by the signal to interference ratio level from CPICH. The highest signal to interference ratio user gets the number of channels based on the signal to interference ratio table and the remained channels are assigned to the other level users. Therefore the proposed scheme can provide the similar maximum service throughput and higher fairness than existing scheduling algorithm. Simulation results show that our algorithm can provide the similar maximum service throughput and higher fairness than MAX C/I algorithm and can also support the higher service throughput than proportional fairness scheme.

**Key words:** Packet scheduling(패킷 스케줄링), Fairness(공평성), Channel assignment(채널 할당)

## 1. 서 론

오늘날 사용자들의 다양한 멀티미디어 서비스에 대한 요구는 증가하고 있다. 이에 따라 증가되는 트

래픽 양을 조절하기 위한 무선자원 관리 기법은 중요시 되고 있다. 오늘날 이동통신 시스템 망은 전송되는 데이터들을 패킷화하여 전송하는 방향으로 진화되고 있어 그 패킷들을 조절하는 패킷 스케줄링 알고

※ 교신저자(Corresponding Author): 이명섭, 주소: 대구시 남구 현충로 274 (705-703), 전화: 053)650-9254, FAX: 053)657-9253, E-mail: skydream@ync.ac.kr  
접수일: 2010년 4월 19일, 수정일: 2010년 7월 14일

완료일: 2010년 9월 13일  
<sup>†</sup> 준회원, 영남대학교 지역혁신센터 연구원  
<sup>\*\*</sup> 정회원, 영남이공대학 컴퓨터정보계열 조교수  
(E-mail: skydream@yu.ac.kr)

리즘은 매우 중요하다고 볼 수 있다. 기존의 패킷 스케줄링 알고리즘들은 시스템 전체 처리량과 다른 사용자들 사이의 자원 할당의 공평성 그리고 사용자들의 데이터 전송 지연시간에 따른 QoS 보장 등의 기준으로, 어느 기준을 우선시 하느냐에 따라 시스템 성능을 결정하였다[1-3].

먼저, 처리량을 우선하는 MAX C/I(carrier to interference) 알고리즘은 가장 좋은 신호 대 간섭비를 가진 사용자에게 전송 서비스를 해줌으로써 시스템 전체 수율을 최대로 하는 알고리즘이다. 이 알고리즘은 서비스를 받기 원하는 사용자의 SIR값을 매 TTI(transmission timing interval)마다 계산하여 패킷 스케줄러가 가장 높은 SIR을 가지는 사용자에게 채널을 할당하여 서비스 하는 기법이다. 서비스를 받게 되는 사용자  $i$ 는 다음 식에 의해서 정해진다.

$$j = \arg \max_{1 \leq j \leq N} SIR_j \quad (1)$$

여기서  $SIR_j$ 는 서비스를 요청한 전체 사용자  $N$ 명 중  $j$ 번째 사용자의 SIR값이다. 이 값이 최대가 되는  $j$ 번째 사용자를 서비스 사용자로 선택한다. MAX C/I 알고리즘은 채널상태가 가장 좋은 사용자가 우선적으로 서비스를 받을 수 있는 기회를 제공받기 때문에 효율적인 변조 및 채널코딩을 통해 높은 데이터 전송률을 가질 수 있는 장점이 있다. 그러나 채널상태가 좋거나 기지국에 가까이 있는 사용자가 높은 SIR값을 가질 수 있기 때문에 독점적으로 서비스를 받고 기지국에서 멀리 있거나 채널상태가 좋지 못한 사용자의 경우 서비스를 받지 못하여 전송하려는 패킷이 계속 드롭(drop)되는 아사상태(starvation)가 발생할 수 있다는 단점이 존재한다.

두 번째로 공평성을 최우선으로 하여 채널을 할당하는 라운드 로빈 알고리즘은 사용자들에게 순서대로  $P_i^{\max}$  만큼의 전력을 할당한다. 현재 타임 슬롯에서 스케줄러에 의해 서비스를 받는  $i$ 번째 사용자는  $r_i = \min(r_d^i, r_i)$  만큼의 전력을 할당 받게 된다. 여기서의  $P_i^{\max}$ 는  $i$ 번째 사용자가 할당받을 수 있는 최대 전력이고,  $P_d^{\max}$ 는 사용자에게 할당 가능한 잔여 전력량을 의미한다. 이때 할당할 수 있는 전력이 남은 경우  $r_{i+1} = \min(r_d^{i+1} - r_i^{\max}, r_{i+1}^{\max})$  만큼의 전력을 다음 사용자에게 할당한다. 사용자에게 할당하고 남은 전력이 있을 경우 사용자의 요구 전송전력이  $r_d^i$  보다 작거나 같을 경우 요구 전력만큼 할당하여 남은

전력이 요구 전력보다 작을 때까지 스케줄러는 사용자에게 전력을 할당한다. 이 때 전체 사용자  $N$ 명이 서비스를 받지 못한 가운데 할당 가능 전력이 없을 경우 이 사용자는 다음 타임 슬롯에서 전력을 할당 받아 서비스를 받게 된다. 모든 사용자가 공평하게 서비스를 받기 위해 동일한 전력만큼 전송가능하기 때문에 공평성은 향상되지만 MAX C/I 알고리즘에 비해 전송 수율의 성능이 낮다.

마지막으로 비례공정 알고리즘은 사용자의 현재 채널 상태 정보와 이미 서비스가 끝난 타임 슬롯의 채널 상태 정보를 모두 이용하여 다음 타임 슬롯에 서비스를 받을 사용자를 결정하는 방식이다. 식 (2)는 스케줄러에 의해 사용자가 선택되는 조건을 나타낸다. 이 알고리즘은 스케줄러가 서비스를 받을 사용자를 선택하기 위해 현재 채널 상태를 나타내는 전송률  $r_i$ 와 평균 채널 상태를 나타내는 평균 전송률  $R_i$ 의 비율을 이용하는데 이 비율이 최대가 되는 사용자를 선택하는 방식이다.

$$j = \arg \max_{1 \leq i \leq N} \frac{r_i}{R_i} \quad (2)$$

이때 현재 전송률과 평균 전송률의 비율이 모두 동일할 경우 전송될 사용자는 무작위로 선택된다. 단, 전송할 데이터가 없는 사용자는 해당되지 않는다. 평균 전송률은 다음 (식) 3에 의해 결정된다.

$$R_i(t+1) = (1 - \frac{1}{t_c})R_i(t) + \frac{1}{t_c} \times r_i(t) \quad (3)$$

본 논문에서는 HSDPA 시스템에서 CPICH를 사용하여 측정된 신호 대 간섭 전력비(signal to interference ratio : SIR)를 바탕으로 스케줄러가 채널을 할당하도록 하여 공평성과 QoS를 보장하는 알고리즘을 제안한다. CPICH에서 측정된 최대 SIR을 가지는 사용자에게 채널을 할당하는 MAX C/I 알고리즘과 달리 본 논문에서는 측정된 SIR값의 등급에 따라 다른 수의 채널을 사용자에게 할당하여 남은 수의 채널을 두 번째 SIR을 가지는 사용자에게 할당하여 시스템의 공평성을 향상시키는 알고리즘이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 HSDPA 시스템 및 서비스별 트래픽 모델을 분석한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 패킷 스케줄링 알고리즘에 대해 분석하고 그 성능 및 모의실험 결과를 4장에서 분석한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## 2. 시스템 및 트래픽 모델링

### 2.1. 시스템 모델

HSDPA (high speed downlink packet access) 시스템은 WCDMA 의 확장한 개념의 시스템이다. WCDMA Release 99 및 Release 4와 동일한 주파수 대역을 사용하여 기지국에서 사용자 단말기로의 하향 링크에서 고속으로 데이터를 전송하는데 적합하게 모델링 된 서비스 시스템이다[4,5]. 그림 1은 셀 내의 사용자 단말기와 전송 데이터를 처리하는 노드 B(Node B)사이의 채널 및 역할을 설명하는 개념도이다.

HSDPA 시스템은 5MHz 대역에서 3.84Mcps의 칩 율(chip rate)을 사용하는 기존의 WCDMA 시스템과 동일한 채널화 부호(channelization code)를 사용함으로 상호 호환이 가능하도록 설계되어있다. HSDPA 시스템은 단말기가 기지국으로부터 수신된 공통 파일럿 채널(common pilot channel; CPICH)의 수신레벨에 해당하는 인덱스를 기지국으로 피드백하고, 기지국은 모든 사용자 단말기로부터 피드백된 하향링크 채널 상태 정보를 이용하여 각 타임 슬롯에 데이터를 수신할 사용자와 전송률, 채널 코딩 및 변조방식 등의 파라미터를 결정한다.

WCDMA의 개량형 시스템인 HSDPA 시스템의 사용자는 같은 주파수 대역을 사용하여 통신하게 되는데 이것은 다른 사용자에게 간섭으로 작용하기 때문에 HSDPA 시스템에서의 간섭은 WCDMA 시스템과 마찬가지로 중요하게 고려되는 파라미터이다 [5]. 기지국은 사용자가 다른 사용자로부터 받는 간섭 신호를 이용하여 사용자 신호세기 대 간섭신호세기 비율인 SIR을 채널 상태를 알기 위한 수단으로 사용한다. 여기서의 사용자 신호세기는 서비스를 받는 사용자의 신호 강도를 의미하고 간섭 신호는 서비스 사용자의 신호에게 간섭으로 작용할 수 있는 다른

사용자 단말기의 전력의 합을 의미한다.

시스템에서  $K$ 개의 셀을 가지고, 한 셀에  $N$ 개의 사용자 단말기가 서비스를 받기 위해 대기하고 있다고 가정하면, 셀  $i$ 에서 서비스를 제공받기 원하는 사용자  $n$ 의 SIR은 (식) 4와 같이 얻을 수 있다.

$$SIR(i, n) = \frac{P_m \cdot H_m}{\beta \left( \sum_{m=1}^{N_i} P_m \right) H_m + \sum_{j=1, j \neq i}^B \left( \sum_{m=1}^{N_j} P_{jm} \cdot H_{jm} \right)} \quad (4)$$

여기서  $N_i$ 는  $i$ 번째 기지국의 총 사용자 수이고,  $B$ 는 시스템 내 기지국 총 수를 의미하며,  $\beta$ 는 하향 링크의 직교 계수 이다.  $P_{im}$ 은 사용자 단말기의 하향 링크 전송 시 송신 전력이고,  $H_m$ 은 사용자 단말기가 기지국과 통신을 할 때 거리에 의한 경로손실(path-loss), 쉐도잉(shadowing), 다중경로에 의한 페이딩(multi-path fading)과 같은 3가지 요소에 의해 영향을 받는 채널이득을 의미한다.

### 2.2. 서비스별 트래픽 모델

오늘날의 사용자는 음성 데이터뿐 아니라 다양한 매체를 통한 WWW, E-mail 그리고 대용량 멀티미디어 데이터 등과 같은 다양한 데이터 서비스를 받기를 원한다. 즉, 실시간(real time) 서비스인 음성 데이터 서비스를 비롯한 비 실시간(Non real time) 데이터 서비스 또한 시스템에서 제공해 주어야 한다[6]. 이에 본 논문에서는 제공하는 서비스의 종류에 따라 각기 다른 트래픽 모델을 사용하여 트래픽을 생성한다. 멀티미디어 서비스 환경을 모의 실험하기 위하여 일반적으로 WAP 브라우저의 텍스트 트래픽, 배경 화면 이미지 또는 벨소리 다운로드 등의 트래픽과 VOD 트래픽을 분석한다. VOD의 경우 버퍼링 윈도우를 가짐으로 윈도우 크기만큼의 시간 지연이 발생하므로 실제적으로 실시간 서비스라 할 수 없지만 실시간 서비스에 가까운 서비스이므로 실시간 트래픽이라 가정한다. 평균 전송률 384Kbps로 데이터를 전송하여 패킷이 도착하는 비디오 스트리밍(video streaming)서비스 모델을 수정하여 그림 2와 같이 패킷을 생성한다. 12kbit 크기의 패킷이 연속적으로 전송되는데 패킷과 패킷 사이에 패킷 구분을 위한 시간이 존재한다.

비 실시간 서비스의 경우 텍스트 트래픽, 멀티미디어 트래픽으로 대표되는데 일반적으로 자기유사성을

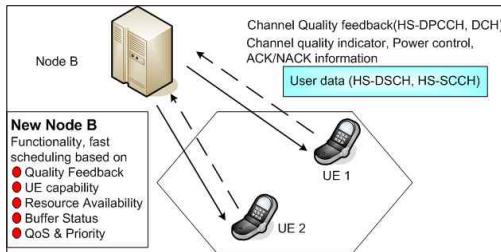


그림 1. 시스템 개념도

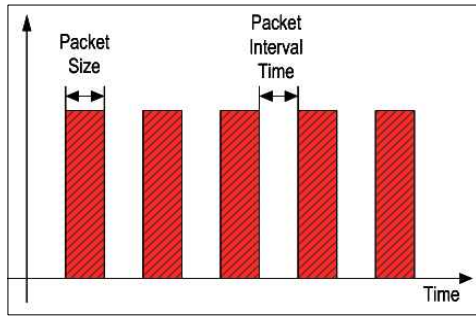


그림 2. 스트리밍 트래픽 모델 (실시간 데이터 트래픽 모델)

가지기 때문에 자기유사성을 보장하기 위해 그림 3과 같이 수정된 웹 모델을 이용하여 트래픽을 생성한다.

비 실시간 데이터 트래픽 모델인 수정된 WWW 모델은 On / Off 형태인 유선 인터넷의 WWW 전송 모델을 수정한 것으로 기존 WWW 모델에서 적용하였던 서로 다른 패킷의 크기를 동일한 패킷 크기를 가지도록 수정한 모델이다[3]. 수정된 WWW 트래픽 모델의 모든 패킷 세션은 웹 다운로드나 이와 비슷한 활동으로 표현되는 여러 개의 패킷 호(packet call)로 구성되어 있다[6~8]. 패킷이 전송되는 온(On) 상태와 전송되지 않는 오프(off) 상태가 존재하며 온(On) 상태인 구간을 패킷 호로 정의한다.

이 때 각 패킷 호의 크기는 평균 25Kbytes인 절단된 파레토 분포(Pareto distribution)를 따르는 랜덤 변수(random variable)의 값을 가지고 모델링 되었으며, 파레토 분포의 확률 밀도 함수는 (식) 5와 같이 표현한다.

$$f_p(x) = \begin{cases} \frac{\alpha \cdot k}{x^{\alpha+1}}, & k \leq x \leq m \\ \beta, & x = m \end{cases}, \quad \beta = \left(\frac{k}{m}\right)^\alpha \quad (5)$$

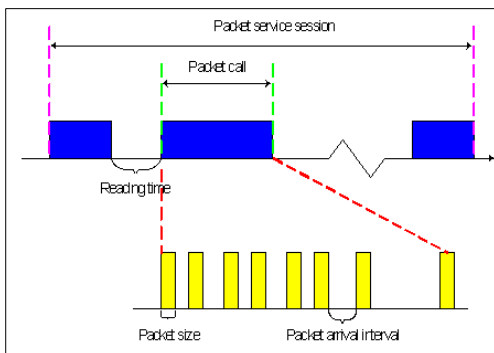


그림 3. 수정된 WWW 트래픽 모델 (비 실시간 데이터 트래픽 모델)

이때 확률 밀도 함수의 형태를 뜻하는  $\alpha$ 는 1.1, 최소값  $k$ 는 4.5Kbytes, 최대값  $m$ 은 2Mbytes를 가진다. 각각의 패킷 호의 시작시간은 기하 분포에 따라 랜덤하게 결정되고 파레토 분포를 따르는 패킷 호의 크기에 따라 패킷 호에서 전송되는 패킷의 수가 결정된다. 이 때 패킷의 크기는 12kbits 이고, 사용자의 패킷 호는 평균 5초의 기하분포를 가지는 리딩 타임(reading time)으로 구분되며 리딩 타임은 사용자 패킷 호의 마지막 패킷이 도착한 시점에서 시작된다. 각 패킷 사이의 시간 역시 기하분포를 따르는데 이 분포의 평균값은 전송 가능한 최대의 데이터양을 채널을 통해 최대 전송속도로 나눈 값으로 평균 6ms이다. 표 4는 트래픽 모델에 적용된 개념들과 파라미터를 나타낸다.

또한 사용자 QoS를 만족시키기 위해 각 데이터 트래픽 별로 요구되는 최대 지연(maximum delay)를 초과할 수 없다[9]. 그림 4는 UMTS QoS 계층 트래픽의 지연 허용 범위를 나타낸 것으로 대화계층(conversation class)의 경우 지연을 1초미만으로 허용하고 음성 및 비디오 트래픽의 경우 예리는 허용하지만 텔넷이나 인터랙티브(interactive) 게임 트래픽의 경우 실시간 서비스를 위해 낮은 최대지연을 가지는 것은 물론 전송에러에도 엄격해야 한다.

### 3. 제안 알고리즘

제안하는 알고리즘의 경우 채널을 할당함에 있어

표 4. 트래픽 모델 파라미터

	Distribution	Parameters	
Packet Calls Size	Pareto with cutoff	$\alpha = 1.1, k = 4.5\text{Kbytes}, m = 2\text{Mbytes}, \text{Average } 25\text{Kbytes}$	
Reading Time	Geometric	Average 5 s (text) Average 0.6 s (multimedia)	
Packet Size	Fixed	12Kbits	
Packet Call Start Time	Geometric	Random Start	
Packet inter-arrival time	Geometric	Average 6ms	
Maximum Delay time	Fixed	Real Time	72 Frames
		Non Real Time	2000 Frames

Error Tolerant	Conversational Voice and Video	Voice messaging	Streaming Audio and Video	FAX
	Telnet, Interactive Games	E-commerce, WWW Browsing	FTP, Still Image, Paging	E-mail arrival notification
Error Intolerant	Conversational (delay << 1s)	Interactive (delay approx. 1s)	Streaming (delay < 10s)	Background (delay > 10s)

그림 4. 계층 트래픽의 지연 허용범위 [15]

서 사용하는 파라미터는 MAX C/I과 동일하게 수신되는 SIR을 사용한다. 그러나 SIR이 가장 높은 사용자에게 모든 채널을 할당하는 방식과 달리 SIR 등급에 따라 정해진 개수의 채널을 할당하고 남은 채널은 다음으로 높은 SIR을 가지는 사용자에게 할당한다. 그림 5는 제안하는 알고리즘에서 각 타임 슬롯에 사용자가 채널을 할당 하는 방식을 도식화 한 것이다.

CPICH를 통해 기지국에 수신되는 사용자 신호의 SIR 등급을 확인하고 정의된 표에 따라 정해진 개수의 채널을 할당하게 되는데 가장 높은 등급을 가지는 사용자가 최대 개수의 채널을 할당 받고 남은 채널이 존재할 경우 다음 등급의 사용자가 채널을 할당 받게 된다. 여기서의 SIR 등급은 할당 받을 수 있는 채널의 개수를 정의하기 위해 구분한 등급으로 실제 채널을 할당 받는 사용자는 가장 높은 SIR을 가지는 사용자가 된다. SIR 등급에 따라 할당되는 채널의 개수는 그림 6과 같이 정의되어있고 할당하는 채널의 수는 공평성과 서비스 수율 측면에서 직관적으로 선택되었다.

등급에 따라 할당하는 채널의 크기가 1개와 같이 작을 경우 SIR의 등급을 구분하는 것이 의미가 없을 만큼 대부분의 채널이 SIR값이 가장 높은 사용자에게 할당되고 최대 2명이 서비스를 받을 수 있게 된다. 반대로 할당하는 채널의 수를 크게 할 경우 가장 낮

은 등급에서 채널을 할당 받는 사용자 수가 증가하지만 SIR의 등급에 따른 채널의 할당이 작아지는 폭이 커지기 때문에 높은 등급을 받더라도 낮은 수의 채널을 할당 받아 전송 수율이 낮아진다. 많은 사용자가 서비스를 받고 높은 전송 수율을 고려하였을 때 채널 할당에서 등급 당 2개로 정의하는 것이 좋다는 결론에 따라 할당하는 채널의 개수를 결정하였다.

SIR Table은 10개의 등급이 있는데 1에서 4등급까지는 비록 전송할 데이터가 존재하더라도 채널을 할당 받지 못하고 폐기되게 되고 5에서 10 등급은 각각 다른 개수의 채널을 할당하게 된다. 그림 7에서 제안하는 알고리즘의 동작 과정을 나타낸다.

사용자 단말기로부터 기지국으로 전송되는 데이터의 종류에 따라 그리고 사용자의 수신 SIR 값에 따라 등급이 정해지고 가장 큰 SIR을 가지는 사용자가 정해진 등급에 따라 채널을 할당 받는다. 이 때 할당 받은 채널 외 추가로 할당 가능한 남은 채널이 존재할 경우 두 번째 사용자에게 채널을 할당하고 더 이상 할당할 채널이 없을 때까지 이 과정을 반복하여 모든 채널을 사용자에게 할당한다. 만약 할당할 채널은 있는데 그 타임 슬롯에 더 이상 서비스를 받을 사용자가 없을 경우 최고 SIR을 가지는 사용자에게 남은 모든 채널을 할당하여 무선 자원 이용률을 증가시킨다.

기본적으로 채널을 할당하기 위해 사용자를 정렬할 때 사용하는 스케줄링 방법은 MAX C/I과 동일하기 때문에 가장 좋은 SIR값을 가지는 사용자가 우선

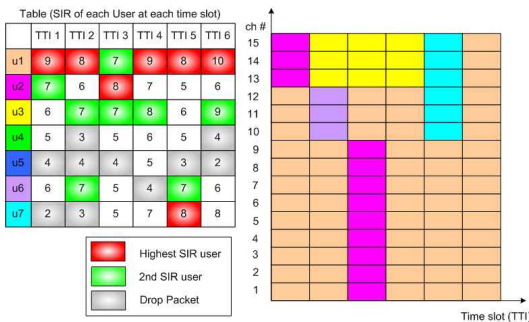


그림 5. 제안하는 알고리즘의 채널할당 방식

SIR Level	10	15	Assigned Channel Numbers
	9	13	
	8	11	
	7	9	
	6	7	
	5	5	

그림 6. 수신 SIR 기반의 채널 할당을 위한 SIR Table

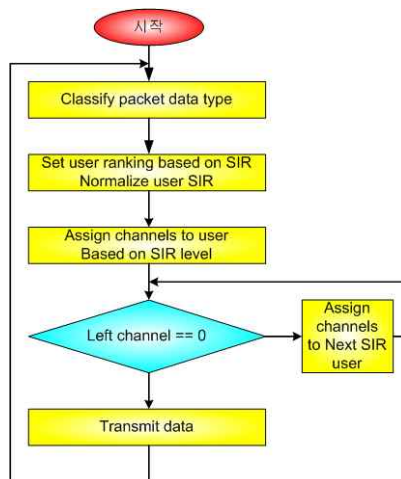


그림 7. 제안하는 알고리즘 순서도

적으로 서비스를 받는다. 그러므로 사용자 SIR의 MCS 등급에 따라 효율적인 채널 코딩과 변조를 사용할 수 있어서 높은 데이터 전송 수율을 나타내지만 가장 높은 SIR 값을 가지기는 하지만 SIR의 등급이 10등급이 되지 않으면 모든 채널을 할당 받을 수 없기 때문에 사용자의 전송 수율은 최대가 될 수 없다. 그러나 남은 채널 없이 모든 채널을 사용자에게 할당할 수 있기 때문에 시스템 전체의 전송 수율은 최대가 될 수 있다. 또한 남은 채널이 있을 경우 다음 사용자에게 할당해 주기 때문에 모든 채널을 한 명의 사용자에게 할당하는 MAX C/I에 비해 좋은 공평성을 보이는 비례공정 알고리즘에 비해 우수한 공평성을 나타낸다. 특히 사용자들의 SIR 값이 낮아서 MAX C/I에서는 서비스를 받을 수 있지만 제안하는 알고리즘에서는 서비스를 받을 수 없는 사용자도 SIR의 등급을 정의할 때 측정 SIR 값의 범위를 확장할 경우, 서비스를 받을 수 있기 때문에 공평성 성능이 향상 될 수 있다.

4. 실험결과 및 분석

4.1. 실험 환경

본 논문에서의 모의실험 환경은 3GPP TR 25.848 표준을 바탕으로 수행되었으며 실험을 위한 각 파라미터는 표5와 같이 정의되어있다.

모의실험 환경은 사용자의 서비스 요구 및 서비스를 받는 모든 조건을 실제 시스템 환경과 같이 구현하기 위해 랜덤한 발생방식을 사용하였으며 총 19개의 후보 셀에 사용자 분포는 유니폼 분포를 따랐다. 기지국에서 데이터 전송을 위해 할당하는 전력은 셀의 총 전력의 70%이며, 나머지 30%는 ACK/ NACK 정보 비트를 전송하기 위하여 할당된다.

표 5. 모의실험 파라미터

Parameter	Value
Cell layout	19 cells, 3 sectors / cell
User distribution	Uniform
Cell radius	1 [Km]
BS total Tx Power	17 [W]
Standard deviation of shadowing	8 [dB]
Correlation between sectors	1.0
Correlation between cells	0.5
Number of paths	12
Hybrid ARQ	Chase combining
Carrier frequency	2 [GHz]
Number of users	Fixed
Path-loss model	128.1 + 37.6log(R)

셀 내의 건물 및 지형들의 분포는 섹터 별로 동일하다고 가정하므로 섹터들 간의 상관도는 1이고 셀과 이웃 셀 간의 상관도는 0.5로 둔다. 사용자들은 셀 내에 균등하게 분포하고 처음 모의실험이 실행되면 고정된 위치를 가진다. 기지국과 사용자 단말기 간의 경로 손실 모델은  $128.1 + 37.6\text{Log}R$ 을 사용하였으며, 이 때 R의 단위는 Km이다. 선택도입은 8dB의 표준편차를 가지는 로그 노말(log normal) 분포를 따른다. 총 12개의 다중경로에서 각 경로는 경로지연이 발생함에 따라 1dB씩 감소한다. 즉, 자신의 위치에 따라 다른 사용자들과는 서로 다른 채널 환경을 가지고 간섭에 비해 낮은 세기를 가지는 가우스 잡음(Gaussian noise)는 고려하지 않는다.

채널 상태에 따라 다른 변조방식 및 채널 코딩을 사용하는 링크적응(link adaptation)기법에는 AMC(adaptive modulation and coding)기법이 적용된다. 채널 상태에 따라 QPSK, 16 QAM, 64 QAM 변조방식을 사용하고 채널 코딩률을 1/4, 1/2, 3/4로 적절히 사용한다. 이에 따른 전송률은 표 6에 표현된다.

모의실험에서는 MCS(modulation and coding scheme) 레벨 7 단계 중 MCS2, MCS5, MCS6, MCS7이 고려되고, 각 레벨의 임계치는 그림 8을 참조하여 결정하였다.

그림 8은 자신의 신호 대 다른 사용자들로부터의

표 6. MCS level

MCL level	Coding rate	Modulation	Data rate
1	1/4	QPSK	1.2 Mbps
2	1/2	QPSK	2.4 Mbps
3	3/4	QPSK	3.6 Mbps
4	3/4	8PSK	5.4 Mbps
5	1/4	16 QAM	4.8 Mbps
6	3/4	16 QAM	7.2 Mbps
7	3/4	64 QAM	10.8 Mbps

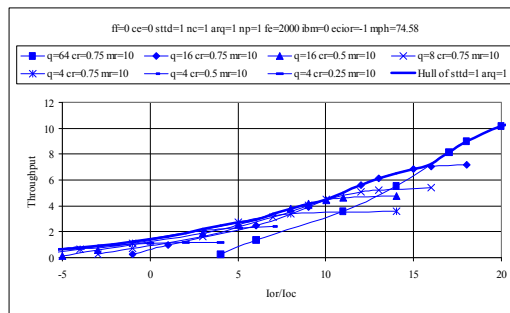


그림 8. MCS level 임계치



간섭의 비율인 Ior/Ioc의 값의 변화에 따라 MCS 적용 시 수율을 나타낸 것으로 Ior/Ioc에 따라 수율이 가장 높은 MCS가 변하는데 MCS2, MCS5, MCS6, MCS7의 경우 그 경계가 3.0, 9.0, 14.0 dB로 나타난다. 즉, 3.0 dB 이하일 경우 MCS 2의 경우가 수율이 가장 높고 2.4 Mbps의 전송률을 보장해주고, 14 dB의 경우 MCS 7이 가장 높고 10.8 Mbps의 전송률을 보장해준다. 사용자 단말기로부터 수신된 CPICH 신호의 강도를 기반으로 MCS 등급을 정하고 이를 통해 각 사용자가 서비스 받을 전송 수율을 얻는 방식을 사용한다.

4.2. 성능평가 기준

본 논문에서는 시스템 성능 평가 기준으로 시스템의 서비스 수율(service throughput), 패킷 호 수율(packet call throughput) 그리고 공평성 (fairness)을 사용하고 있다. 서비스 수율은 하나의 섹터에서 1초의 시간 동안 서비스되는 전송률을 의미한다. 섹터 내의 모든 사용자의 수율을 합친 결과이기 때문에 사용자 수가 증가함에 따라 서비스 수율 역시 증가한다. 서비스 수율은 (식) 6과 같이 정의된다.

$$Service\_throughput = \frac{1}{N_{cells}} \sum_{k=1}^{N_{cells}} Service(k) \quad (6)$$

$N_{cells}$ 은 총 셀의 수를 의미하고,  $Service(k)$ 는  $k$ 번째 셀에서 TTI마다 성공적으로 전송되는 평균 데이터를 나타내고 (식) 7과 같이 표현한다.

$$Service(k) = \frac{1}{N_{seconds}} \sum_{i=1}^{N_{seconds}} N_{good\_bits}(i) \quad (7)$$

$N_{good\_bits}(i)$ 는 셀에서  $i$ 번째 TTI에서 성공적으로 전송되는 데이터 수를 의미하며,  $N_{seconds}$ 는 전체 데이터 전송 시간이며 선택된 사용자가 데이터가 없을 경우에도 전송되는 총 시간에 포함된다. 패킷 호 수율은 서비스된 패킷 호의 첫 번째 패킷이 전송되고 마지막 패킷이 전송될 때까지의 시간차를 이용하여 구하며, 모든 패킷 호에 대해 실제 전송된 시간 동안에 서비스 된 평균 전송률을 나타낸다. 사용자의 수가 증가할수록 전송되는 패킷 호의 패킷 중 서비스를 받지 못하고 폐기되는 비율이 증가하기 때문에 패킷 호 수율은 감소한다.

공평성은 3GPP TR 25.848표준에서 사용된 것으로

모의실험 시간 동안 서비스를 받은 사용자의 패킷 호 수율이 32, 64, 128, 384, 1000 Kbps를 나타낼 때 각 수율의 범위에서의 사용자 비율을 누적한 값으로 나타내며, (식) 8과 같다.

$$CDF(\%) = \frac{User\ number\ achieving\ data\ rate}{Total\ packet\ call\ user\ number} \quad (8)$$

4.3. 성능 비교

(1) 서비스 수율 비교

서비스 수율은 1초 동안 섹터에서 서비스 되는 모든 사용자의 비트의 양으로 정의되는데 섹터에 전체 사용자의 수에 따라 100명 이하인 경우와 100명 이상인 경우로 나누어 결과를 비교하였다. 일반적으로 서비스 사용자 수가 100명 이상이 될 경우 서비스 받으려고 요구하는 사용자가 많아지기 때문에 섹터 내에서 전송되는 비트 수를 나타내는 서비스 수율은 증가하며 사용자 수에 따라 전송 수율의 차이가 크게 나타난다. 반면 100명 이하인 경우 서비스를 요구하는 사용자 수가 적기 때문에 알고리즘의 영향을 받지 않고 거의 비슷한 결과를 나타낸다.

전체 사용자가 100명 이하인 경우 실시간 서비스 사용자가 발생하는 환경에서 제안하는 알고리즘과 기존알고리즘의 서비스 수율을 비교한 결과가 그림 11에 나타난다.

그림 12는 서비스 수율을 전체 사용자 수가 100명 이상인 경우에서의 성능을 비교한 결과이다.

서비스 사용자 수의 증가로 인해 서비스를 원하지만 받지 못하는 사용자 수가 증가하기 때문에 알고리즘에 따라 서비스 수율의 차이가 크게 나타난다. 제안하는 알고리즘의 경우 모든 경우에서 비례공정 알고리즘보다 높은 성능을 나타내고 MAX C/I 알고리

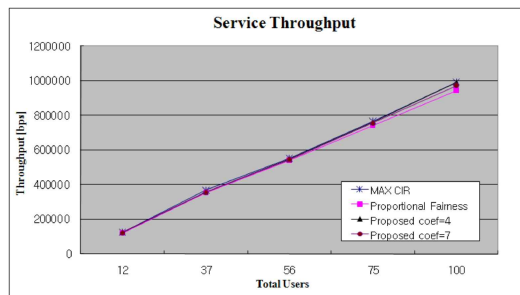


그림 11. 100명 이하에서 실시간 데이터에서의 서비스 수율 비교

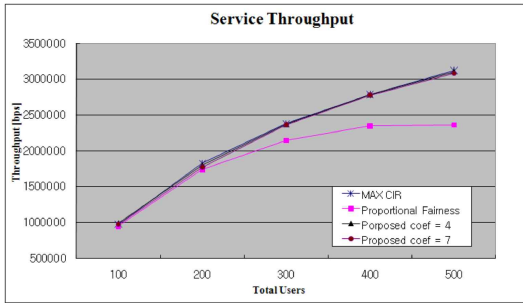


그림 12. 100명 이상에서 실시간 데이터에서의 서비스 수율 비교

증보다는 낮은 서비스 수율을 나타낸다. 또한 'Coef' 값에 따라 값이 큰 알고리즘의 경우 높은 수율을 나타낼 수 있다. 전체 사용자 수가 증가함에 따라 서비스를 요구하는 사용자 수 또한 증가하여 스케줄러가 서비스를 받을 사용자를 선택하는데 제한하는 알고리즘의 'Coef' 값에 따른 서비스 성능 차이가 거의 없다는 것을 나타내는데 이것은 섹터 내에서 전송되는 비트 수에서는 큰 차이가 없다는 것을 의미한다.

(2) 패킷 호 수율 성능 비교

그림 13은 100명 이하의 사용자 환경에서 각 사용자 환경에서의 패킷 호 수율을 비교한 결과이다. 전체 사용자 수가 100명 이하이기 때문에 서비스를 요구하는 대부분의 사용자가 서비스를 받기 때문에 100명 이상의 환경에 비해 알고리즘에 따른 차이가 작게 나타난다. 특히, 각 사용자 데이터의 종류에 따른 결과는 제안하는 알고리즘의 패킷 호 수율이 비례공정 알고리즘에 비해 우수하고 MAX C/I 알고리즘에 비해 낮은 성능을 보여준다. 서비스 수율에서와 같이 데이터의 전송률에 수신 SIR 값이 큰 영향을 주기 때문에 패킷 호 수율에서도 최대 SIR 사용자에게 서비스를 허가하는 MAX C/I 알고리즘이 가장 높은 성능을 나타내고 기본적으로는 MAX C/I을 따르지만 다른 수의 채널을 할당하여 두 번째로 높은 사용자가 서비스를 받을 수 있는 제안하는 알고리즘이 비례공정 알고리즘에 비해 높지만 MAX C/I에 비해 낮은 성능을 보인다.

제안하는 알고리즘의 패킷 호 수율은 'Coef'의 값이 커짐에 따라 낮은 성능을 보임을 알 수 있다. 이것은 'Coef'가 커짐에 따라 비교적 나쁜 채널 상태 때문에 MCS 등급에서 낮은 전송 수율을 할당 받은 사용

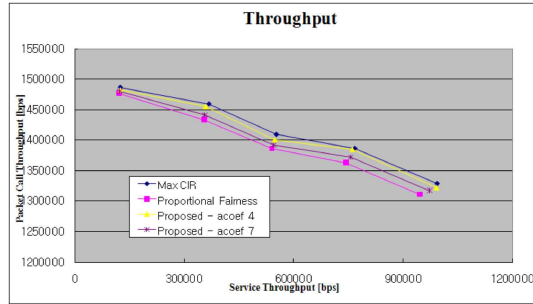


그림 13. 100명 이하에서 실시간 데이터에서의 패킷 호 수율 비교

자가 서비스 받는 경우가 증가할 수 있기 때문에 발생한다. 'Coef' 값이 적으면 나쁜 채널 상태를 가지는 사용자가 존재하더라도 서비스를 받지 못하고 가장 좋은 채널 상태를 가지는 사용자에게 모든 채널이 할당되기 때문에 전송 수율이 높아지는 결과를 보인다. 전체 사용자 수가 100명 이상인 경우 사용자의 패킷 호 수율이 그림 14에 보인다.

결과에 나타나듯 서비스 수율은 사용자의 수가 증가함에 따라 감소하는데 특히 스케줄링 알고리즘에 따라 차이가 크게 나타난다. 100명 이하의 결과와 같이 MAX C/I이 가장 높은 성능을 보이고 비례공정 알고리즘이 가장 낮은 성능을 나타내고 제안하는 알고리즘의 경우 'Coef' 값이 클수록 낮은 패킷 호 수율을 나타낸다. 이는 채널 상태에 따라 결정되는 기본 전송률이 'Coef' 값이 클 경우 나쁜 상태의 사용자가 낮은 전송률로 서비스를 받을 가능성이 'Coef' 값이 작은 경우에 비해 높기 때문에 그 차이가 나기 때문이다.

(3) 공평성 성능 비교

그림 15는 실시간 사용자가 전송을 요구하는 환경

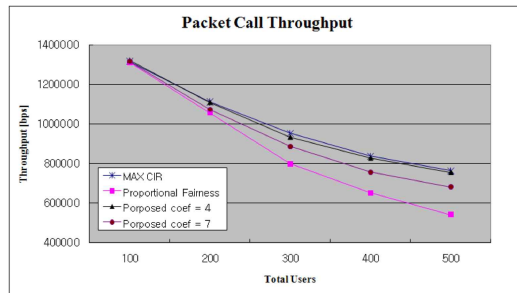


그림 14. 100명 이상에서 실시간 데이터에서의 패킷 호 수율 비교



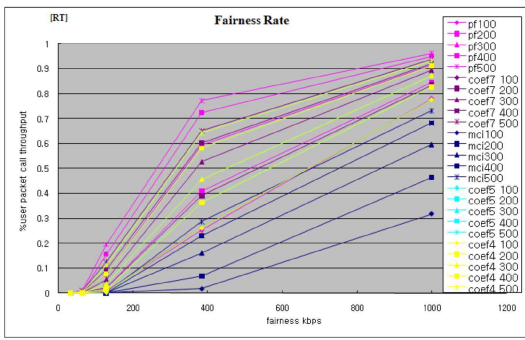


그림 15. 실시간 데이터에서의 공평성 비교

에서 제안하는 알고리즘과 기존의 알고리즘의 공평성을 비교한 것이다.

여기에서의 공평성은 실제로 데이터를 전송하여 서비스를 받는 시간 동안의 수율을 나타내는 패킷 호 수율을 이용한 것으로 서비스를 받은 사용자의 패킷 호 수율이 32k, 64k, 128k, 384k, 1Mbps이하를 가지는 사용자의 누적 비율을 나타낸다. 예를 들어 64kbps까지의 사용자 패킷 호 수율을 가지는 사용자가 전체의 30%일 경우 그 이상이 되는 사용자는 70%이다. 이 때 제안하는 알고리즘과 기존 알고리즘간의 비율을 비교함으로써 채널의 할당 비율을 알고 이를 통해 공평성을 비교할 수 있다.

결과에서, 모든 사용자 환경에서의 MAX C/I 알고리즘은 1Mbps이상의 사용자 패킷 호 수율에서 가장 높은 비율을 나타내고 있는데 이것은 채널 상태가 좋은 사용자가 높은 전송률로 우선적으로 서비스를 받기 때문에 나타나는 결과이다. 제안하는 알고리즘의 경우 1Mbps의 패킷 호 수율을 나타내는 경우가 MAX C/I에 비해 낮지만 비례공정 알고리즘에 비해 높은데 1Mbps 이하의 서비스율에서도 MAX C/I과 비례공정 알고리즘의 중간에 위치하여 전송률의 분배가 MAX C/I에 비해 우수하다는 것을 보여준다.

제안하는 알고리즘의 경우 Coef에 따른 공평성 차이가 크게 나타나지 않음을 알 수 있는데, 기본적으로 제안하는 알고리즘의 사용자 선택 기준이 MAX C/I과 동일하기 때문에 나타나는 결과이다. 그러나 MAX C/I 알고리즘에 비해 나쁜 채널 상태를 가지는 사용자가 낮은 전송률로 서비스를 받을 기회가 증가하기 때문에 사용자와 데이터 전송률의 분배가 MAX C/I 알고리즘에 비해서 우수하다. 그러나 낮은 전송률의 사용자가 MAX C/I 알고리즘에 비해

많기 때문에 전체적인 성능은 낮게 나타난다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 무선 자원 관리 기법 중 패킷 데이터를 효율적으로 전송하는데 필요한 패킷 스케줄링 기법을 다루었다. 제안 알고리즘은 서비스를 요청하는 사용자의 신호 대 간섭 전력비의 등급을 지정하여 등급에 따라 각각 다른 수의 채널을 할당하는 방식이다. 제안 알고리즘에서 전송 수율의 경우 실시간 서비스와 비실시간 서비스가 혼합된 경우와 실시간 서비스만 존재하는 경우와 비실시간 서비스만 존재하는 경우 제안하는 알고리즘이 MAX C/I에 비해 성능이 조금 낮지만 비례공정 알고리즘에 비해 높은 성능을 나타낸다. 공평성 측면에서 제안하는 알고리즘이 비례공정 알고리즘에 비해 낮은 성능을 보이고 MAX C/I 알고리즘에 비해 높은 성능을 나타냄을 알 수 있다

#### 참 고 문 헌

- [ 1 ] Y.Ofuji, A.Morimoto, S.Abeta, and M.Sawahashi, "Comparison of packet scheduling algorithms focusing on user throughput in high speed downlink packet access," Proc.of IEEE PIM-RC '02, Vol. 3, pp. 1462-1466, Sept. 2002.
- [ 2 ] 3GPP, 3G TR 25.848, "Physicla Layer Aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access."
- [ 3 ] Airlink Overview, 1x Evolution IS-856 ITA/EIA Standard, available from [http://www.cdg.org/technology/3g/resource/1xEV\\_AirlinkOverview\\_110701.pdf](http://www.cdg.org/technology/3g/resource/1xEV_AirlinkOverview_110701.pdf)
- [ 4 ] C.J.Ong, Peter H.J.Chong, and Raymond Kwan, "Effects of various packet scheduling algorithms on the performance of high speed downlink shared channel in a WCDMA network," IEEE Pacific Rim Conference, PACRIM2003, Vol. 2, pp. 935-938, Aug. 2003.
- [ 5 ] 최호규, "IMT-2000 고속 패킷데이터 전송시스템(1xEV-DV, HSDPA)," 한국정보통신기술협회, TTA저널, 제 82호, Aug. 2002, pp. 80-90.
- [ 6 ] WG5 Evaluation AHG, 1xEV-DV Evaluation Methodology -Addendum(V6), July. 2001.

- [ 7 ] Y.Ofuji, A.Morimoto, S.Abeta, and M.Sawahashi, "Comparison of packet scheduling algorithms focusing on user throughput in high speed downlink packet access," Proc.of IEEE PIM-RC '02, Vol. 3, Sept. 2002, pp. 1462-1466.
- [ 8 ] 백장현, 김동희, "차세대 이동통신시스템을 위한 패킷 스케줄링 알고리즘과 효율적인 프레임 구성 방법 및 성능 분석," 한국 경영 과학회, 한국 경영 과학회지, 제 30권, 제 2호, June, 2005.
- [ 9 ] 3GPP Technical Standards TS 22.105, "Service and Service Capabilities."
- [10] 손주희, 박세권, 박용완, 이경락, 장재성, 문순주, "HSDPA 시스템에서 요금 기반의 패킷 스케줄링 알고리즘에 관한 연구," 한국통신학회, 한국통신학회논문지, 제31권, 제3C호, pp. 219-227, 2006. 03.
- [11] 이승환, 김성원, 박용완, "HSDPA 시스템에서 수신 SIR기반의 유연한 채널 할당 방식의 공평한 스케줄링 기법에 관한 연구," 한국통신학회, 한국통신학회논문지, 제 32권, 제 9호, pp. 878-887, 2009. 09.



**이 승 환**

2005년 2월 영남대학교 정보통신과 졸업  
 2007년 2월 영남대학교 정보통신과 석사  
 2007년 9월~현재 영남대학교 RIC (무선멀티미디어시스템설계) 연구원

관심분야: 이동통신, 통신공학, HSDPA



**이 명 섭**

1996년 경일대학교 컴퓨터공학과 공학사  
 1998년 영남대학교 대학원 컴퓨터공학과 공학석사  
 2003년 영남대학교 대학원 컴퓨터공학과 공학박사  
 2001년~2002년 경동정보대학 인터넷정보계열 전임강사

2003년~2006년 영남대학교 전자정보공학부 연구교수  
 2008년~현재 영남이공대학 컴퓨터정보계열 조교수  
 관심분야: 통신망관리, 애드혹 네트워크, 센서네트워크, 영상처리 등